

Adam SIELICKI

Politechnika Wrocławska

DOBÓR WYMIARÓW A NIEZAWODNOŚĆ
KONSTRUKCYJNA WYTWORU

Streszczenie. W artykule rozważono czynniki określające niezawodność wytworu w oparciu o dietychowską koncepcję rozumienia cechy konstrukcyjnej jako postaci konstrukcyjnej i odpowiadającego jej układu wymiarów. Pokazano, że prawdopodobieństwo poprawnego działania jest funkcją zarówno postaci jak i wartości wymiarów oraz że właściwa postać konstrukcyjna jest warunkiem koniecznym lecz nie wystarczającym niezawodnego działania wytworu.

1. Postać konstrukcyjna i układ wymiarów

Dietrych [1] pokazał, że przewidywane działanie projektowanego wytworu, który ma się stać środkiem technicznym, implikuje postać konstrukcyjną tego wytworu.

Określone działanie (D_1) może jednak być urzeczywistnione nie tylko przez wytwór o jednej określonej postaci konstrukcyjnej. Istnieje zbiór postaci (Z_M), odpowiadających określonemu działaniu. W ogólnym przypadku zbiór ten jest nieskończenie liczny:

$$\text{card } Z_M(D_1) \rightarrow \infty$$

Powstaje zatem kwestia optymalnego doboru postaci jako jedno z najbardziej istotnych zadań procesu projektowo-konstrukcyjnego. Zadanie to ma charakter twórczy i z reguły nie poddaje się algorytmizacji.

Byłoby jednak błędem niedoceniecie sprawy doboru wymiarów.

Jak wiadomo, postać konstrukcyjna może być uważana za jakościowy odpowiednik określonej cechy konstrukcyjnej. Ilościowo cechę tę reprezentuje zbiór wartości wymiarów.

Układ wymiarów W jest funkcją przyjętej postaci konstrukcyjnej Π :

$$W = f(\Pi)$$

Określenie więc cech konstrukcyjnych wytworu to podanie postaci i odpowiadających im układów wymiarów.

Zarówno postać jak i wartość wymiarów mają, jak pokażemy dalej, istotny wpływ na niezawodność wytworu.

2. Postać konstrukcyjna a niezawodność wytworu

Można bez trudu pokazać, że niezawodność wytworu jest funkcją postaci konstrukcyjnej.

Niezawodność - to prawdopodobieństwo poprawnego działania wytworu w określonym przedziale czasu i określonych warunkach.

Postać konstrukcyjną dobiera się ze względu na założone działanie. Ale postaci dla danego działania może być wiele. Jest intuicyjnie jasne, że nie każda z tych postaci wyznacza to samo prawdopodobieństwo poprawnego działania.

Intuicja ta potwierdzi się, jeżeli wziąć pod uwagę wytwór złożony z n podzespołów (elementów).

Przyjmując założenie upraszczające, że dla poprawnej pracy wytworu konieczne jest poprawne działanie każdego podzespołu oraz ponadto zakładając niezależność uszkodzeń, dostajemy na niezawodność wytworu wyrażenie:

$$R_w = \prod_{i=1}^n R_i,$$

gdzie R_i - niezawodność i -tego podzespołu.

W praktyce bardzo często występują wytwory złożone. Ich postać różni się zarówno liczbą jak i rodzajem zastosowanych elementów. W sposób oczywisty wynika stąd wniosek, że niezawodność wytworu jest funkcją postaci konstrukcyjnej.

Aby usunąć wątpliwości dotyczące wytworów prostych, zwróćmy uwagę na dobrze znany fakt, że te ostatnie mogą być traktowane jako złożone (np. na zasadzie metody elementów skończonych). Znane są także bezpośrednio wzięte z praktyki przykłady związków pomiędzy postacią konstrukcyjną a niezawodnością. Najprostszym, nasuwającym się spostrzeżeniem jest wpływ kształtu na wytrzymałość zmęczeniową wytworu (tzw. przekroje niebezpieczne).

Istnienie relacji pomiędzy postacią konstrukcyjną a niezawodnością inspirowało powstanie całego szeregu metod zapewnienia założonego poziomu niezawodności na drodze odpowiedniego kształtowania postaci konstrukcyjnej. Warto zwrócić tutaj uwagę, że tak właśnie należałoby interpretować próby zwiększania niezawodności na drodze rezerwowania, tj. wprowadzania do wytworu podzespołów nadmiarowych.

W najprostszym przypadku, gdy rezerwowanie polega na wprowadzeniu m identycznych wytworów, prawdopodobieństwo realizacji założonego działania wyniesie:

$$R_d = 1 - [1 - R_w]^m = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^n R_i \right]^m$$

Próbując rozciągnąć na ten przypadek interpretację Dietrycha powiemy, że wprowadzenie rezerwy stanowi zmianę postaci konstrukcyjnej opisującej tę cechę wytworu, jaką można by nazwać jego topologią.

3. Dobór wymiarów a niezawodność konstrukcyjna

Często przyjmuje się mylnie, że dobór postaci konstrukcyjnej ostatecznie określa niezawodnościowe własności wytworu. Nie zawsze docenia się istotne znaczenie właściwego doboru wartości wymiarów i wpływ tego doboru na niezawodność.

Tymczasem, jest to problem o pierwszorzędym znaczeniu ze względu na minimalizację wpływu zmian starzeniowych (zmęczeniowych) i procesów zużycia, a także ze względu na minimalizację wpływu zmian warunków otoczenia, towarzyszących procesowi użytkowania wytworu.

Załóżmy, że dane są (dla wszystkich cech konstrukcyjnych): postać konstrukcyjna i odpowiadający jej układ wymiarów. Wtedy okoliczności prawidłowego działania wytworu są opisane pewną liczbą 1 tzw. warunków sprawności. Te ostatnie wyrażają związki pomiędzy określonym parametrem techniczno-eksploatacyjnym P , a zmiennymi (x_i) i stałymi (c_j) - poszukiwanego rozwiązania, przy czym x_i oraz c_j są to oczywiście wymiary:

$$P_1(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, c_1, c_2, \dots, c_r) \neq P_1 \text{ gr}$$

$$P_2(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, c_1, c_2, \dots, c_r) \neq P_2 \text{ gr}$$

$$\dots \dots \dots$$

$$P_l(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, c_1, c_2, \dots, c_r) \neq P_l \text{ gr}$$

W relacjach tych $P_i \text{ gr}$ oznaczają dopuszczalne wartości brzegowe odpowiedniego parametru opisującego działanie wytworu.

Zwróćmy uwagę, że przy takim zapisie szukany zbiór wartości wymiarów (traktowanych jako zmienne) jest wektorem n -wymiarowym:

$$\bar{x}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Zauważmy także, że przedstawiony układ relacji wyznacza (w n -wymiarowej przestrzeni zmiennych rozwiązania) obszar dopuszczalnych rozwiązań D . Obszar ten nosi nazwę obszaru sprawności.

Warunkiem poprawnego działania układu jest zatem inkluzja znamionowego wektora \bar{x}_{NOM} z obszarem D :

$$\bar{x}_{\text{NOM}} \in D$$

Dobranie znamionowych wartości wymiarów tak, by inkluzja powyższa była spełniona, nie jest jeszcze rozwiązaniem zadania, zwłaszcza w sensie niezawodnościowym. Ze względu na to, że rzeczywiste wymiary w populacji wytworów rozłożone są w otoczeniu wartości znamionowych w sposób losowy, zadanie ma charakter probabilistyczny. Istnieje mianowicie prawdopodobieństwo:

$$p(\bar{x} \in D) \stackrel{\text{def}}{=} R_k,$$

które nazwiemy niezawodnością konstrukcyjną wytworu. Matematycznie wyraża się ono całką po obszarze D z łącznej funkcji gęstości rozkładu wartości wymiarów $x_1; x_2 \dots x_n$ - w otoczeniu ich wartości znamionowych:

$$R_k = \int_D \dots \int_D f(\bar{x}) dD$$

gdzie $f(\bar{x})$ jest łączną funkcją gęstości.

Z punktu widzenia niezawodności staramy się dobrać taki zbiór wartości wymiarów znamionowych (czyli wektor \bar{x}_{OPT}), by maksymalizować niezawodność konstrukcyjną:

$$R_k(\bar{x}_{\text{OPT}}) = \max R_k$$

$$\bar{x}_{\text{OPT}} \in D$$

Obliczeniowo zadanie nie jest proste, m.in. z powodu nieznanności analitycznej postaci funkcji gęstości. Stąd dążenie do stosowania metod uproszczonych [2, 3]. Jedną z nich jest znana metoda najgorszego przypadku, zakładająca istnienie przedziałów tolerancji dla poszczególnych wymiarów, przy czym inkluzję rzeczywistej wartości zmiennej z odpowiednim przedziałem tolerancji uważa się za pewną.

W [3] pokazano, że obszar sprawności można przekształcić "pesymistycznie", uzyskując pewien obszar D_{SP} , taki, że:

$$D_S \rightarrow D_{\text{SP}} \subset D_S,$$

przy czym:

$$R_k = 1$$

dla

$$\bar{x}_{\text{NOM}} \in D_{\text{SP}}$$

a zatem przy pewnych założeniach możliwe jest otrzymanie niezawodności konstrukcyjnej równej jedności.

4. Podsumowanie

Niezawodność wytworu jest funkcją zarówno postaci konstrukcyjnej jak i wartości wymiarów.

Prawidłowa postać konstrukcyjna jest warunkiem koniecznym, ale nie wystarczającym do uzyskania założonej niezawodności. Przy danej postaci konstrukcyjnej można uzyskać różną wartość niezawodności w zależności od znamionowego położenia wektora wartości wymiarów.

Istnieją metody maksymalizacji niezawodności konstrukcyjnej dla wytworów o danej postaci.

LITERATURA

- [1] J. Dietrych: Projektowanie i konstruowanie, WNT, Warszawa 1974.
- [2] P.W. Becker, F. Jensen: Projektowanie nadiożnych elektronnych schjem, Sowjetskoje Radio, Moskwa 1977.
- [3] A. Sielicki: Zagadnienia optymalnej syntezy teoretycznej podstawowych układów logicznych, Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej, Automatyka VI, zesz. 179, Wrocław 1967.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ И КОНСТРУКТИВНАЯ НАДЕЖНОСТЬ ИЗДЕЛИЯ

Резюме

В статье на основе введённой Дитрихом концепции конструкционной черты обсуждаются факторы влияющие на надёжность изделия. Показаны связи между конструкционным видом и надёжностью изделия. Делается вывод, что правильная конструкционная черта является необходимым, но не достаточным, условием надёжной работы изделия, так как на уровень надёжности в значительной степени влияют номинальные значения параметров.

CHOICE OF DIMENSIONS AND THE CONSTRUCTIONAL
RELIABILITY OF THE PRODUCT

S u m m a r y

In the paper basing on Dietrych's idea of constructional feature, factors determining the reliability of a product discussed.

It is shown that a proper operation probability is a function of both the shape and dimension values. An adequate constructional shape is necessary but insufficient condition for a reliable product operation.